



УДК 502.1:504.1: 470.4

DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-3-283-294

Роль нефтедобычи в развитии эрозионных процессов в сельскохозяйственных ландшафтах степной зоны

Мячина К.В., Дубровская С.А., Ряхов Р.В.

Институт степи УрО РАН ОФИЦ УрО РАН,
Россия, 460000, г. Оренбург, ул. Пионерская, 11
E-mail: mavicsen@list.ru, skaverina@bk.ru, remus.rv@gmail.com

Аннотация. Целью исследования является анализ развития эрозионных процессов в преимущественно сельскохозяйственных ландшафтах Волго-Уральского степного региона, находящихся в условиях воздействия нефтедобывающего производства. Анализ развития эрозионной сети выполнялся на трех ключевых участках с использованием изображений спутников Ландсат. Выполнены оцифровка, картографирование и классификация эрозионных форм рельефа для трех временных срезов – 1985, 2000, 2019 годов. Элементы эрозионной сети классифицированы в два класса: овраги и балки. Активность эрозионных процессов оценивалась методом зонирования на основе значений плотности пространственного распределения эрозионных форм рельефа. Выявлено, что катализатором интенсификации почвенной эрозии является функционирование нефтепромыслов в стадии максимальной техногенной нагрузки – в этот период общая протяженность элементов эрозионной сети может увеличиваться более чем в 4 раза. Сельскохозяйственные земли, находящиеся в зоне влияния нефтепромыслов, подвержены повышенному риску развития эрозионных процессов – активность оврагообразования может возрастать более чем на 20 %.

Ключевые слова: степная зона, сельскохозяйственные ландшафты, добыча нефти, развитие эрозионной сети, интенсификация оврагообразования, Волго-Уральский регион.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-05-00122А, № ГР АААА-А20-120011390069-6), а также в рамках гос. задания ИС УРО РАН (№ ГР АААА-А17-117012610022-5).

Для цитирования: Мячина К.В., Дубровская С.А., Ряхов Р.В. 2020. Роль нефтедобычи в развитии эрозионных процессов в сельскохозяйственных ландшафтах степной зоны. Региональные геосистемы, 44(3): 283–294. DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-3-283-294

The role of oil production in the acceleration of soil erosion in the steppe agricultural landscapes

Ksenia V. Myachina, Svetlana A. Dubrovskaya, Roman V. Ryahov

Institute of Steppe of the UrB of RAS, OFRC of the UrB,
11 Pionerskaya St, Orenburg, 460000, Russia
E-mail: mavicsen@list.ru, skaverina@bk.ru, remus.rv@gmail.com

Abstract. Against the background of prerequisites for the emergence of a global shortage of food resources, the most important task is a comprehensive assessment of the interaction of agricultural production and parallel industrial activities, such as oil and gas production. Among the main factors of technogenic destabilization of landscapes, which can contribute to the loss of productive agricultural land, can be identified soil erosion. The purpose of the study was to analyze the contribution of oil production to the development of erosion processes in mainly agricultural landscapes of the Volga-Ural steppe region. The analysis of the development of the erosion network was performed at three key plots using Landsat satellite images. Digitization, mapping and classification of erosion network objects were performed for three time

sections-1985, 2000, 2019. According to morphometric features, elements of the erosion network are classified into two classes: gullies and hollows. The activity of erosion processes was estimated by zoning based on the density of spatial distribution of elements of the erosion network. It was found that the catalyst for the intensification of soil erosion is the functioning of oil fields, mainly at the stage of maximum technogenic load – during this period, the total length of the erosion network elements can increase by more than 4 times. Agricultural land located in the zone of influence of the oil field is subject to an increased risk of development of new and activation of existing elements of the erosion network – the activity of gully formation can increase by more than 20 %.

Keywords: steppe zone, agricultural landscapes, oil production, soil erosion, intensification of gully formation, Volga-Ural region.

Acknowledgements: The study was supported by RFBR grant No.20-05-00122A (No.AAAA-A20-120011390069-6) and under the theme of state assignment of IS UrB RAS No.AAAA-A17-117012610022-5 (Goszadanie).

For citation: Myachina K.V., Dubrovskaya S.A., Ryahov R.V. 2020. The role of oil production in the acceleration of soil erosion in the steppe agricultural landscapes. *Regional Geosystems*, 44(3): 283–294 (in Russian). DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-3-283-294

Введение

Исторически сельскохозяйственное производство – приоритетная отрасль экономики на равнинных умеренно-засушливых степных территориях, в результате чего преобладающим типом степных ландшафтов являются земли сельскохозяйственного назначения. Масштабное хозяйственное освоение нефтяных месторождений в степной и аналоговых зонах во второй половине XX века вызвало обострение геоэкологических проблем задействованных регионов [Чибилёв, 1992; Ahmed, 2015; McClung, Moran, 2018]. Внедрение в сложившиеся агроstepные ландшафты технических блоков недропользования способствовало созданию дополнительных мощных источников техногенного влияния и синергии воздействия, приводящей к специфической трансформации ландшафтов и возникновению зон геоэкологических проблем.

Площадь нашей планеты относительно невелика, поэтому геоэкологическая составляющая любого вида масштабной производственной деятельности, развернутой на мировом уровне, играет существенную роль в модификации экологической и социально-экономической ситуации на всех территориально-географических ступенях – окружающая среда, экономика и социум являются связанными системами. На фоне предпосылок к возникновению мирового дефицита продовольственных ресурсов важнейшей из задач можно считать всестороннюю оценку взаимодействия сельскохозяйственного производства и параллельно функционирующих видов хозяйственной деятельности, одним из которых является нефтегазодобыча. Только в российских степных регионах разрабатывается более 500 нефтегазовых месторождений, что определяет значительные масштабы техногенного воздействия на естественные и аграрные ландшафты. В ряду основных факторов техногенной дестабилизации земель, которая может способствовать потере продуктивных сельскохозяйственных угодий, можно выделить эрозию почвы. Эрозия почвы нежелательна в первую очередь тем, что способствует потере продуктивных земель, создавая социально-экономическую напряженность в масштабах затронутых территориальных единиц [Arabameri et al., 2020].

Таким образом, один из основных конфликтных аспектов взаимодействия нефтяного и аграрного производств – вывод из сельскохозяйственного оборота участков продуктивных земель для организации эффективного нефтепромысла, результатом функционирования которого может быть развитие (приумножение) эрозионных процессов [Wang et al., 2012]. В то же время нефть и газ – важнейшие ресурсы, их добыча необходима и экономически обусловлена, а отвод под этот вид недропользования некоторых категорий сельскохозяйственных земель оправдан.

Безусловно, существует множество естественных факторов, вносящих вклад в развитие эрозионных процессов [Trabuschi et al., 2013; Аввакумова, 2020]. Однако известно, что в результате многолетней эксплуатации нефтяных месторождений в природных и техногенных почвах отмечается повышение концентрации газообразных углеводородов, способствующих образованию грифонов (прорыв газа из затрубного пространства буровой скважины), вызывающих проседание почвенных горизонтов. Далее, при воздействии постоянных и временных водотоков на таких участках, идет постепенное образование промышленной овражно-балочной сети [Зорина, 2003; Григорьев, Рысин, 2006]. Для образования техногенной эрозионной сети достаточным условием является игнорирование особенностей рельефа окружающей местности при размещении объектов и отсутствие на участке месторождения обустроенной дренажной системы водоотведения. Кроме того, эрозионные процессы могут возникать и усиливаться при активном использовании техники и перемещении больших объемов грунта и строительных материалов. «Заточенность» компаний-недропользователей преимущественно на извлечение финансовой выгоды, стремление максимизировать прибыль в ущерб геоэкологическому состоянию территории способствуют возникновению подобных осложнений.

Связанные с нефтедобычей неоднозначные геоэкологические и социально-экономические последствия являются не только российской проблемой, но и входят в перечень острейших мировых вопросов, подтверждая актуальность изучаемой темы. Исследователи ряда нефтедобывающих стран работают над созданием эффективных стандартов анализа и прогноза последствий эксплуатации нефтяных месторождений, путей оптимизации затрагиваемых ландшафтов [Jones, Pejchar, 2013; Baynard et al., 2017].

Основной задачей предлагаемой работы является анализ вклада объектов нефтепромыслов в развитие эрозионных процессов в ландшафтах степной зоны.

Объекты и методы исследования

В качестве территории исследования выбран Волго-Уральский степной регион, где основными типами природопользования являются сельскохозяйственное производство и нефтедобыча (рис. 1).

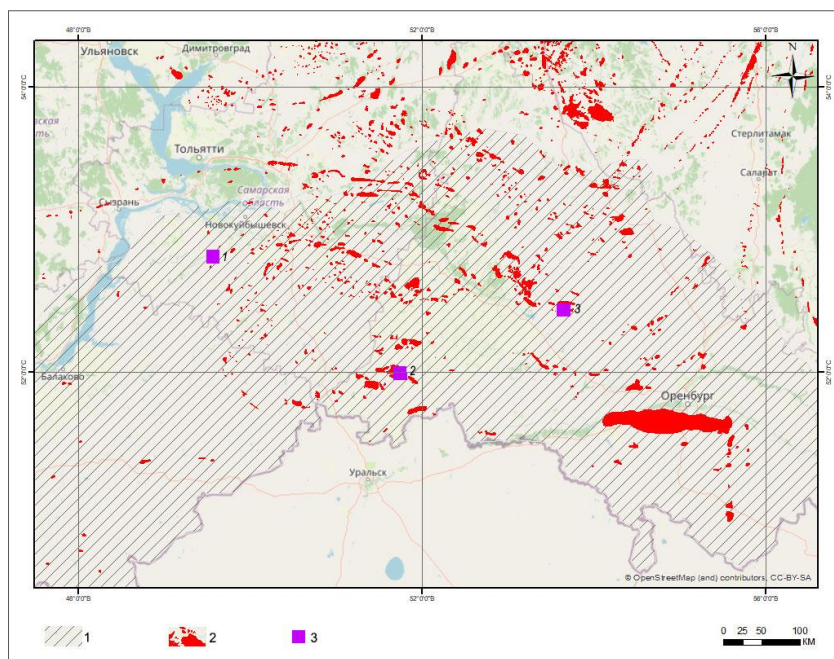


Рис. 1. Территория исследования: 1 – Волго-Уральский степной регион, 2 – месторождения нефти и газа, 3 – ключевые участки исследования

Fig. 1. Study area: 1 – Volga-Ural steppe region, 2 – oil and gas fields, 3 – key study plots

Добыча нефти в регионе ведется с начала 40-х гг. XX в., что определяет сложную динамику трансформации ландшафтов. Например, в Оренбургской области, являющейся ядром Волго-Уральского степного региона, общая площадь нефтегазоносной части превышает 90 тыс. км² при общей площади области в 124 тыс. км². Более 70 % территории отведено под земли сельскохозяйственного назначения, что способствует созданию эффекта взаимопроникновения и взаимовлияния двух разнородных типов промышленного воздействия (рис. 2).

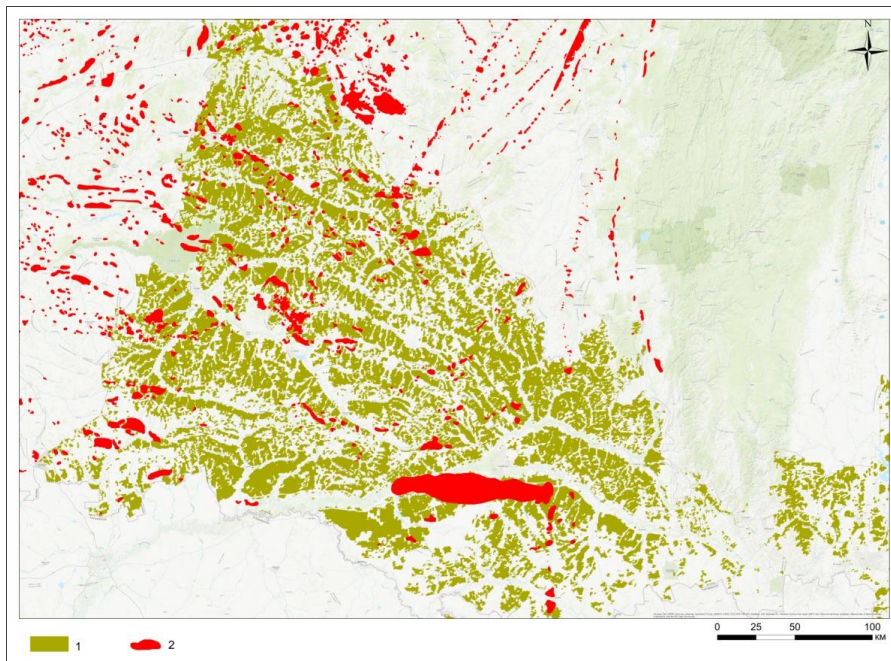


Рис. 2. Оренбургская область: 1 – земли сельскохозяйственного назначения [Bartalev и др., 2016],
2 – месторождения нефти и газа

Fig. 2. Orenburg region: 1 – agricultural land [Bartalev et al., 2016], 2 – oil and gas fields.

По некоторым данным, в Оренбургской области около 40 % буровых работ приходится на земли активного сельскохозяйственного использования. При этом остро встают задачи защиты земель от техногенных преобразований и их возврата в сельскохозяйственный оборот [Борисюк, 2009].

Для проведения исследований были выбраны три ключевых участка площадью 100 км² каждый (см. рис. 1). При выборе ключевых участков соблюдались два основных условия: первое – наличие сельскохозяйственной деятельности, второе – наличие разрабатываемого нефтяного месторождения (на каждом участке – с различными сроками разработки) в непосредственной близости и (или) в границах сельскохозяйственных земель. Ключевой участок № 1 (Самарская область) расположен на пологом водоразделе, разработка нефтяного месторождения на участке началась в конце 60-х гг. XX в. Объекты нефтепромысла размещены в тесном соседстве с сельскохозяйственными землями. Ключевой участок № 2 выделен также на сырцово-холмистом водоразделе, часть которого отведена под сельскохозяйственное производство; добыча нефти на участке производится с начала 80-х гг. XX в. Ключевой участок № 3 (Оренбургская область) характеризуется в основном равнинным рельефом, что объясняет наличие многочисленных сельскохозяйственных угодий (пашен, пастбищ, сенокосов), перемежающихся с объектами нефтяной инфраструктуры – внедрение сети нефтепромысловых объектов здесь происходит с начала 90-х гг. XX в.

Для анализа развития эрозионной сети на ключевых участках использовались синтезированные весенние изображения спутников LANDSAT (пространственное разрешение –

30 м/пиксель). Преимущества снимков LANDSAT – свободный доступ и возможность создать долговременной динамический ряд исследуемых процессов. Анализ выполнялся в несколько этапов. На первом этапе осуществлялась оцифровка элементов эрозионной сети для трех временных срезов – 1985, 2000, 2019 годы. Вторым этапом, на основе градации по морфометрическим признакам, элементы имеющейся на участке исследования эрозионной сети классифицировались в два класса: овраги (глубина 10–20 м, ширина до 30 м) и балки (глубина до 30 м, ширина до 50 м) [Леонтьев, Рычагов, 1979]. Распознавание элементов производилось на основе экспертного дешифрирования с учетом существующих подходов и возможных помех [Ермолаев и др., 2017].

На третьем этапе выполнялся анализ активности эрозионных процессов методом зонирования. Зонирование осуществлялось на основе значений плотности пространственного распределения выявленных элементов эрозионной сети. Для каждого изучаемого периода выделялись следующие зоны:

- 1) с очень низкой плотностью элементов (менее 200 м/км²),
- 2) с низкой плотностью элементов (200–400 м/км²),
- 3) со средней плотностью элементов (400–600 м/км²),
- 4) с высокой плотностью элементов (600–800 м/км²),
- 5) с очень высокой плотностью элементов (более 800 м/км²).

На четвертом, завершающем этапе выполнен анализ степени активности эрозионных процессов. Динамические ряды полученных зон для каждого ключевого участка сопоставлены при помощи алгоритма наложения пространственной информации в ПО ArcGIS. Выделено шесть направлений динамики развития эрозии: 1 – устойчивое снижение, 2 – снижение, 3 – отсутствие динамики, 4 – слабый рост, 5 – устойчивый рост, 6 – значительный рост.

Результаты и обсуждение

На ключевом участке № 1 на данный момент наблюдается снижение протяженности активных эрозионных элементов – оврагов (~ на 20 %) и увеличение доли устойчивых полого-вогнутых балок (~ на 30 %), то есть прослеживается ослабление интенсивности процессов оврагообразования (рис. 3).

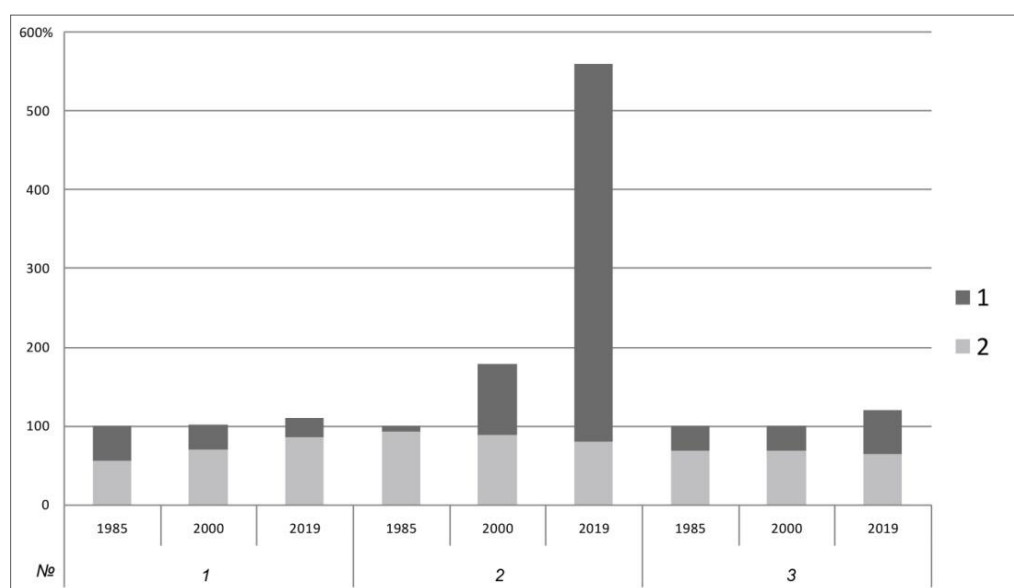


Рис. 3. Динамика протяженности элементов эрозионной сети на ключевых участках исследования (№ 1, 2, 3 по оси x): 1 – овраги, 2 – балки

Fig. 3. Dynamics of the length of erosion elements in the study key plots (№ 1, 2, 3 on the x axis): 1 – gullies, 2 – hollows.

Авторы полагают, что подобное затухание деструктивных процессов связано со снижением техногенной нагрузки: нефтяное месторождение на участке № 1 разрабатывается более 50 лет, за которые миновало несколько этапов жизненного цикла, включая этап максимальной добычи и максимальной техногенной нагрузки. Этот этап начал ослабевать с середины 2000-х гг., что отражено на диаграмме распределения зон активности (плотности) эрозионных процессов (рис. 4).

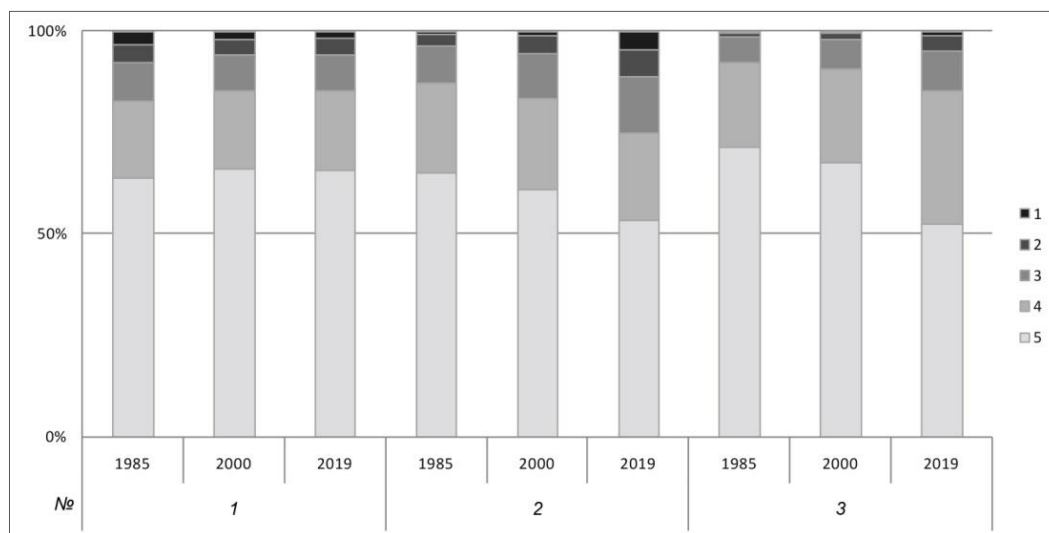


Рис. 4. Соотношение зон плотности элементов эрозионной сети на ключевых участках исследования (№ 1, 2, 3 по оси x): 1 – зоны с очень высокой плотностью элементов, 2 – зоны с высокой плотностью, 3 – зоны со средней плотностью, 4 – зоны с низкой плотностью, 5 – зоны с очень низкой плотностью элементов эрозионной сети

Fig. 4. The ratio of zones of erosion density in the key study plots (№ 1, 2, 3 on the x axis): 1 – zones with higher density of elements, 2 – zones with high density, 3 – zones with medium density, 4 – zones with low density, 5 – zones with lower density of elements of the erosion network

На данный момент в южной части ключевого участка подавляющее большинство объектов нефтедобычи не функционирует. Переход на стадию снижения нагрузки способствует развитию процессов самовосстановления ландшафтных компонентов [Муллаев, Саенко, 2019]. Земли на таких участках, предварительно выведенные из сельскохозяйственного оборота для целей размещения нефтедобывающей инфраструктуры, не возвращены в полном объеме в оборот и, соответственно, не подвергаются на данный момент антропогенному воздействию, образуя мало- и средневозрастные залежи.

Таким образом, на ключевом участке № 1 четко выделяются пространственные тренды изменения эрозионной активности. Положительные тренды относятся к мало- и средневозрастным залежам, отрицательные – к зонам расширения инфраструктуры нефтепромысла. Выделяются существенные различия в пространственном распределении плотности эрозионной сети в пределах изучаемого участка. Хотя основа эрозионной сети участка сформировалась до начала активной разработки нефтяного месторождения, нефтедобыча в кульминационном цикле своего развития явилась дополнительным активным катализатором экзогенных процессов – длина эрозионной сети возросла в этот период на 10 %. Сейчас часть территорий, отведенных под нефтедобычу, не используется, представляя собой мало- и средневозрастные залежи, на которых снижена активность эрозии.

Картосхема, представленная на рисунке 5, демонстрирует ситуацию, сложившуюся на участке исследования к 2019 году.

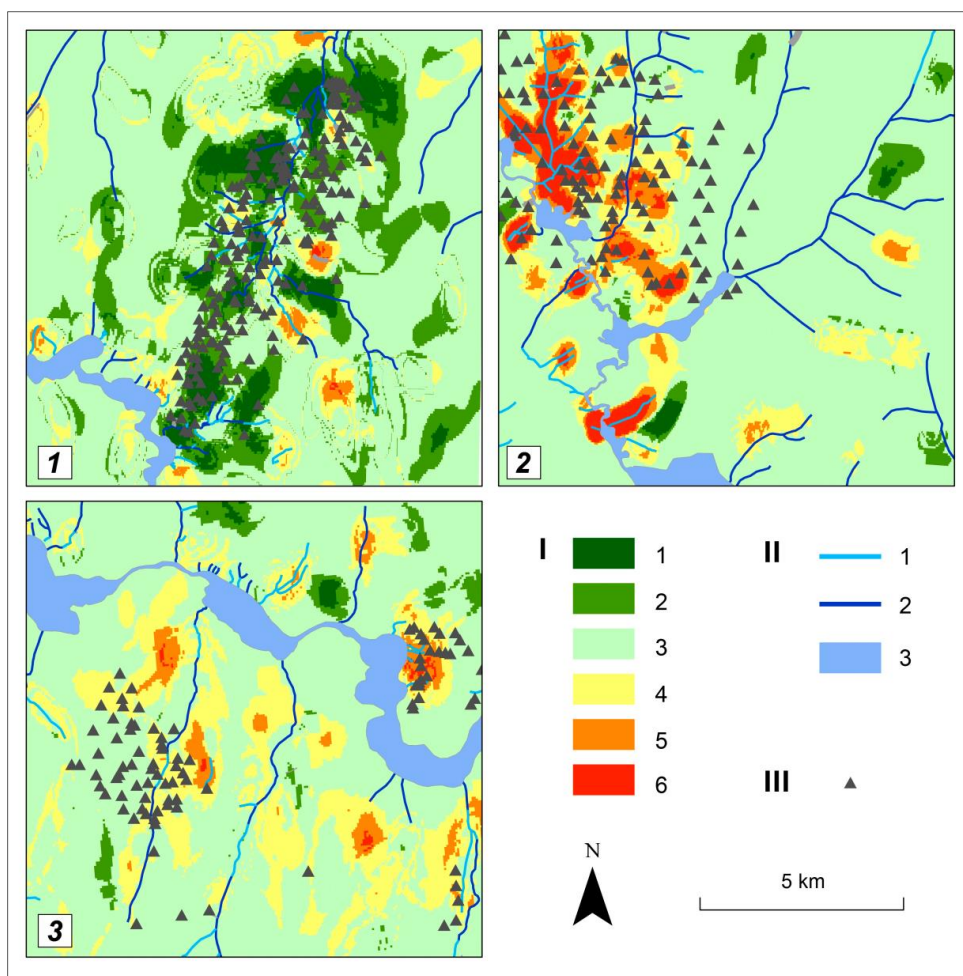


Рис. 5. Интегральная картосхема динамики эрозионных процессов (1985–2019 гг.) и структуры овражно-балочного типа местности на ключевых участках исследования (№ 1, 2, 3): I – тренды активности эрозионных процессов: 1 – устойчивое снижение, 2 – снижение, 3 – тренд отсутствует, 4 – повышение, 5 – устойчивое повышение, 6 – значительное повышение; II – структура эрозионной сети (на 2019 г.): 1 – овраги, 2 – балки, 3 – долина реки; III – объекты нефтепромысла

Fig. 5. Integrated map of the erosion dynamics (1985–2019) and the structure of the gully, beam type of lands in key study plots (№ 1, 2, 3): I – Trends in the activity of erosion processes: 1 – steady decline, 2 – decline, 3 – no trend, 4 – increase, 5 – steady increase, 6 – significant increase; II – Structure of the erosion network (for 2019): 1 – gullies, 2 – hollows, 3 – river valley; III – oil field objects

На ключевом участке № 2 отмечается значительный рост протяженности элементов эрозионной сети за период изучения. Соотношение общей длины оврагов в 2019 г. к их длине в 1985 г. составило 480 % (прирост более чем на 20 км) (см. рис. 3). Предположительно, именно нефтедобывающая деятельность привела к перераспределению соотношений в структуре элементов овражно-балочного типа местности: активизировала существующие эрозионные процессы на прилегающих территориях и способствовала проявлению вторичного оврагообразования. Существенно уменьшилась площадь зон с очень низкой эрозионной активностью (более чем на 10 %) и возросла доля зон с высокой (от 2,8 до 6,6 %) и очень высокой (от 0,7 до 4,7 %) эрозионной активностью. При этом доля зон с низкой эрозионной активностью характеризуется наибольшей устойчивостью (изменения не превышают 1 %) (см. рис. 4). Выявлено, что основная часть негативных трендов связана с сетью активных объектов нефтедобычи. Критическая ситуация в пределах участка исследо-

вания прослеживается на пологих придолинных склонах юго-западной экспозиции, где расположены ядра нефтепромысловой инфраструктуры. Судя по всему, высокая плотность технических сооружений способствует максимальной концентрации элементов эрозионной сети по сравнению с общей площадью обследуемого участка (см. рис. 5).

На ключевом участке № 3 большая часть территории до внедрения нефтедобывающей инфраструктуры отличалась низкой и очень низкой степенью эрозионной активности: до 2000 г. – начального этапа разработки месторождения – экзогенные процессы в ландшафтах протекали достаточно слабо. Активизация техногенной деятельности на месторождении инициировала новые и усилила текущие эрозионные процессы, связанные с воздействием сельскохозяйственного производства [Dotterweich et al., 2013]. Отмечается возрастание эрозионной активности после 2000 г. на 20 % (см. рис. 3, 4). Увеличение количества объектов нефтедобычи и, соответственно, интенсивности техногенного воздействия совпадает с периодом роста параметров эрозионной сети на участке № 3 – можно утверждать, что здесь добыча нефти и обслуживание месторождения привели к образованию техногенных оврагов (см. рис. 5). Техногенные овраги часто расположены среди площадок скважин, существенно активизируя деструктивные процессы, направленные в сторону базиса эрозии (рис. 6).



Рис. 6. Овраг среди объектов нефтедобычи на ключевом участке № 3
Fig. 6. The gully among oil well pads in the key study plot № 3

Одновременно наблюдается снижение протяженности балочных форм за счет активизации процессов вторичного оврагообразования вблизи объектов нефтедобывающей инфраструктуры, вызванных частичным изменением структуры локального водосбора. Некоторые из балочных форм выступают в роли коллекторов отработанных жидкостей, русла других разрушаются или перекрываются в ходе строительных и земляных работ, создавая упор для накопления осадков и техногенных отходов, что приводит к активизации процессов вторичного оврагообразования.

На основе результатов, полученных по трем ключевым участкам, установлено, что когерентно действуют два основных фактора антропогенного оврагообразования – сельскохозяйственная деятельность и разработка нефтяных месторождений. Наиболее динамично развивающимися зонами в общей картине эрозионной сети являются территории внедрения

объектов нефтедобывающего комплекса, при этом деструктивные техногенные воздействия наиболее активны на стадии максимально интенсивного освоения месторождения. Этапы снижения добычи нефти и, соответственно, техногенной нагрузки, сопровождаются устойчивым снижением эрозионных процессов. Значительные вариации в изменении и распределении плотности элементов эрозионной сети, как правило, пространственно связаны с нефтедобывающим комплексом, в том числе усиливая существующее негативное воздействие, оказываемое на ландшафты в ходе сельскохозяйственной деятельности.

Специфика эколого-географических исследований предполагает обоснованное распространение и применение на схожих территориях выводов, сделанных по результатам изучения отдельных локальных участков. Подобные особенности обуславливают актуальнейшую проблему трансляции информации между масштабами исследования и определения характерных пространств происходящих процессов [Хорошев, 2016]. Соответственно, выявленные на локальных репрезентативных участках исследования закономерности развития эрозионных процессов позволяют говорить об аналогичных закономерностях на всех масштабах иерархической лестницы трансформированных нефтедобывающих территорий – локального, субрегионального, регионального и более крупных уровней. Полученные результаты согласуются с данными других исследований, согласно которым в речных водосборах, где идет разработка нефтяных месторождений, продолжается активное оврагообразование [Ермолаев и др., 2016].

Становится очевидно, что для предотвращения и/или снижения интенсивности экзогенных процессов, вызванных техногенными причинами, необходимы разработка и внедрение оптимизационных мероприятий, разработанных на основе научных подходов к размещению объектов с учетом особенностей рельефа, то есть геоэкологически выверенного, природосообразного размещения. Хотя существует пространственная привязка объектов нефтедобычи к лицензионному участку, ограничивающая варианты их расположения, схема их локализации все же может быть геоэкологически обоснованной. Исходя из специфики объектов (в подавляющем большинстве – точечных), наиболее логичным будет применение правила ландшафтной адаптивности на основе оценки позиционных факторов. Одним из подходов может быть минимизация присутствия объектов в наиболее уязвимых ландшафтных местоположениях, например, на эрозионно-опасных склонах, что должно способствовать минимизации геоэкологических проблем. Безусловно, это лишь пример наиболее очевидного примитивного решения, в то время как при его выборе должны оцениваться и другие составляющие и позиционные факторы различного рода. Так, альтернативное размещение может быть связано с выведением из сельскохозяйственного оборота ценных угодий, что противоречит мнениям о необходимости законодательного ограничения отводов наиболее продуктивных земель для несельскохозяйственных нужд. Выделение такого неприкосновенного «элитного фонда» земель должно опираться на материалы качественной экономической и ландшафтно-мелиоративной оценки земель, а не просто бонитировки почв [Чибилёв, 1992]. Подобная точка зрения приобретает все большую актуальность на фоне назревающего мирового дефицита сельскохозяйственной продукции и отвечает современным социо-экономико-экологическим вызовам.

Заключение

Предложенная форма поэтапного геоинформационного анализа многолетней динамики эрозионных процессов позволила выделить зоны их активности, показать направление развития, выявить ведущие факторы современного оврагообразования в зоне сопряженного воздействия сельскохозяйственного и нефтедобывающего производств. Обнаружено, что катализатором интенсификации эрозионных процессов является функционирование

нефтепромыслов, преимущественно в стадии максимальной техногенной нагрузки – общая протяженность элементов эрозионной сети может увеличиваться более чем в 4 раза. Техногенные овраги часто располагаются среди площадок скважин, значительно активизируя деструктивные процессы, направленные в сторону базиса эрозии. На этапах падающей добычи и, соответственно, сокращения техногенной нагрузки происходит устойчивое снижение эрозионной активности. Сельскохозяйственные земли, десятилетиями находящиеся в зоне влияния нефтепромыслов, подвержены повышенному риску развития новых элементов эрозионной сети и активизации существующих – показатели оврагообразования могут возрастать более чем на 20 %. Полученные цифры подтверждают, что эрозия почвы находится в ряду основных факторов техногенной дестабилизации земель и может способствовать потере продуктивных сельскохозяйственных угодий.

Таким образом, разработка методов охраны земель, находящихся в зоне влияния нефтепромыслов, является обязательным требованием для поддержания аграрного производства и сохранения благополучных социально-экономических условий в нефтеносных степных регионах.

Список литературы

1. Аввакумова А.О. 2020. Математическое моделирование факторов эрозии почв на пахотных землях (на примере территории Республики Татарстан). Региональные геосистемы, 44 (1): 5–15.
2. Борисюк Н.К. 2009. Нефть и экономика. М.: Экономика, 340 с.
3. Григорьев И.И., Рысин И.И. 2006. Исследования техногенных и сельскохозяйственных оврагов в Удмуртии. Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле, 11: 83–92.
4. Ермолаев О.П., Медведева Р.А., Платончева Е.В. 2017. Методические подходы к мониторингу процессов эрозии на сельскохозяйственных землях европейской части России с помощью материалов космических съемок. Ученые записки Казанского Университета. Серия Естественные науки, 159 (4): 668–680.
5. Ермолаев О.П., Рысин И.И., Голосов В.Н. 2016. Картографирование овражной эрозии в регионе востока Русской равнины. Геоморфология, 2: 38–51.
6. Зорина Е.Ф. 2003. Овражная эрозия: закономерности и потенциал развития. М., ГЕОС, 170 с.
7. Леонтьев О.К., Рычагов Г.И. 1979. Общая геоморфология: учеб. пособие для географ. специальностей вузов. М., Высшая школа, 287 с.
8. Муллаев Б.Т., Саенко А.Е. 2019. Первоисток Мангышлакской нефти. Месторождение Жетыбай. Киев, Strelbytsky Multimedia Publishing, 471 с.
9. Хорошев А.В. 2016. Полимасштабная организация географического ландшафта. М., ООО ТНИ КМК, 416 с.
10. Чибилёв А.А. 1992. Экологическая оптимизация степных ландшафтов. Свердловск, УрО АН СССР, 164 с.
11. Ahmed Z. 2015. Determination and Analysis of Desertification Process with Satellite Data Alsat-1 and Landsat in the Algerian Steppe. Engineering Geology for Society and Territory. Springer International Publishing, 2: 1847–1852.
12. Arabameri A., Pradhan B., Bui D.T. 2020. Spatial modelling of gully erosion in the Ardib River Watershed using three statistical-based techniques. Catena, 190: 104545.
13. Bartalev S.A., Plotnikov D.E., Loupian E.A. 2016 Mapping of arable land in Russia using multi-year time series of MODIS data and the LAGMA classification technique. Remote Sensing Letters, 7 (3): 269–278.
14. Baynard C.W., Mjachina K., Richardson R.D., Schupp R.W., Lambert J.D., Chibilyev A.A. 2017. Energy Development in Colorado's Pawnee National Grasslands: Mapping and Measuring the Disturbance Footprint of Renewables and Non-Renewables. Environmental Management, 59 (6): 995–1016.

15. Dotterweich M., Stankoviansky M., Minár J., Koco Š., Papčo P. 2013. Human induced soil erosion and gully system development in the Late Holocene and future perspectives on landscape evolution: The Myjava Hill Land, Slovakia. *Geomorphology*, 201: 227–245.
16. Jones N.F., Pejchar L. 2013. Comparing the Ecol. Impacts of Wind and Oil & Gas Development: A Landscape Scale Assessment. *PLOS one*, 8 (11): e81391.
17. McClung M. R., Moran M. D. 2018. Understanding and mitigating impacts of unconventional oil and gas development on land-use and ecosystem services in the US. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 3: 19–26.
18. Trabucchi M., Comín F.A., O'Farrell P.J. 2013. Hierarchical priority setting for restoration in a watershed in NE Spain, based on assessments of soil erosion and ecosystem services. *Regional Environmental Change*, 13 (4): 911–926.
19. Wang G., Innes J., Yusheng Y., Shanmu C., Krzyzanowski J., Jingsheng X., Wenlian L. 2012. Extent of soil erosion and surface runoff associated with large-scale infrastructure development in Fujian Province, China. *Catena*, 89 (1): 22–30.

References

1. Avvakumova A.O. 2020. Mathematical modeling of soil erosion factors on agricultural lands (on the territory of the Republic of Tatarstan). *Regional'nye geosistemy*, 44 (1): 5–15 (in Russian)
2. Borisjuk N.K. 2009. *Neft' i jekonomika* [Oil and the economy]. Moscow, ZAO "Izdatel'stvo "Jekonomika", 340 p.
3. Grigor'ev I.I., Rysin I.I. 2006. Research of agricultural and technogenic ravines in udmurtia. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, 11: 83–92 (in Russian)
4. Yermolaev O.P., Medvedeva R.A., Platoncheva E.V. 2017. Methodological Approaches to Monitoring Erosion of Agricultural Lands in the European Part of Russia by Using Satellite Imagery. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 159 (4): 668–680. (in Russian)
5. Yermolayev O.P., Rysin I.I., Golosov V.N. 2016. Mapping assessment of gully erosion in the east of the Russian plain. *Geomorfologija*, 2: 38–51 (in Russian)
6. Zorina E.F. 2003. *Ovrazhnaja jerozija: zakonomernosti i potencial razvitija* [Gully erosion: patterns and development potential]. Moscow, GEOS, 170 p.
7. Leont'ev O.K., Rychagov G.I. 1979. *Obshhaja geomorfologija: Ucheb. posobie dlja geograf. special'nostej vuzov* [General geomorphology: Textbook for Geographical specialties of higher education institutions.]. Moscow, Vysshaja shkola, 287 p.
8. Mullaev B.T., Saenko A.E. 2019. *Pervoistoki Mangyshlakskej nefti. Mestorozhdenie Zhetybaj* [Primary sources of Mangyshlak oil. The Zhetybai Field]. Kiev, Strelbytskyi Multimedia Publishing, 471 p.
9. Horoshev A.V. 2016. *Polimasshtabnaja organizacija geograficheskogo landshafta* [Multi-scale organization of the geographical landscape]. Moscow, OOO TNI KMK, 416 p.
10. Chibil'ov A.A. 1992. *Jekologicheskaja optimizacija stepnyh landshaftov* [Ecological optimization of steppe landscapes]. Sverdlovsk, UrO AN SSSR, 164 p.
11. Ahmed Z. 2015. Determination and Analysis of Desertification Process with Satellite Data Alsat-1 and Landsat in the Algerian Steppe. *Engineering Geology for Society and Territory. Springer International Publishing*, 2: 1847–1852.
12. Arabameri A., Pradhan B., Bui D.T. 2020. Spatial modelling of gully erosion in the Ardib River Watershed using three statistical-based techniques. *Catena*, 190: 104545.
13. Bartalev S.A., Plotnikov D.E., Loupian E.A. 2016 Mapping of arable land in Russia using multi-year time series of MODIS data and the LAGMA classification technique. *Remote Sensing Letters*, 7 (3): 269–278.
14. Baynard C.W., Mjachina K., Richardson R.D., Schupp R.W., Lambert J.D., Chibilyev A.A. 2017. Energy Development in Colorado's Pawnee National Grasslands: Mapping and Measuring the Disturbance Footprint of Renewables and Non-Renewables. *Environmental Management*, 59 (6): 995–1016.



15. Dotterweich M., Stankoviansky M., Minár J., Koco Š., Papčo P. 2013. Human induced soil erosion and gully system development in the Late Holocene and future perspectives on landscape evolution: The Myjava Hill Land, Slovakia. *Geomorphology*, 201: 227–245.
16. Jones N.F., Pejchar L. 2013. Comparing the Ecol. Impacts of Wind and Oil & Gas Development: A Landscape Scale Assessment. *PLOS one*, 8 (11): e81391.
17. McClung M. R., Moran M. D. 2018. Understanding and mitigating impacts of unconventional oil and gas development on land-use and ecosystem services in the US. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 3: 19–26.
18. Trabucchi M., Comín F.A., O'Farrell P.J. 2013. Hierarchical priority setting for restoration in a watershed in NE Spain, based on assessments of soil erosion and ecosystem services. *Regional Environmental Change*, 13 (4): 911–926.
19. Wang G., Innes J., Yusheng Y., Shanmu C., Krzyzanowski J., Jingsheng X., Wenlian L. 2012. Extent of soil erosion and surface runoff associated with large-scale infrastructure development in Fujian Province, China. *Catena*, 89 (1): 22–30.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мячина Ксения Викторовна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник отдела ландшафтной экологии Института степи УрО РАН ОФИЦ УрО РАН, г. Оренбург, Россия

Дубровская Светлана Александровна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела ландшафтной экологии Института степи УрО РАН ОФИЦ УрО РАН, г. Оренбург, Россия

Ряхов Роман Васильевич, младший научный сотрудник отдела геоэкологии и ландшафтного планирования Института степи УрО РАН ОФИЦ УрО РАН, г. Оренбург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ksenia V. Myachina, Candidate of Sciences in Geography, Leading Researcher of the Department of Landscape Ecology Steppe Institute Ural Branch of the Russian Academy of Sciences OFIC Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

Svetlana A. Dubrovskaya, Candidate of Sciences in Geography, Senior Researcher of the Department of Landscape Ecology Steppe Institute Ural Branch of the Russian Academy of Sciences OFIC Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

Roman V. Ryahov, Junior Researcher of the Department of Landscape Ecology Steppe Institute Ural Branch of the Russian Academy of Sciences OFIC Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia